

ENERGÍA MINIHIDRÁULICA

Capacity Building Programme
on Renewable Energy (RES)



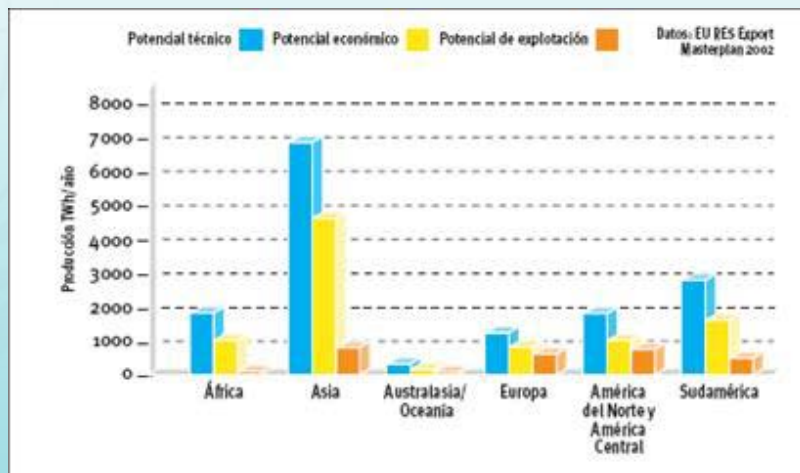
UNITED NATIONS
INDUSTRIAL DEVELOPMENT ORGANIZATION

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID-2013
José A Mancebo, Teodoro Adrada, Carmen Martínez

METODOS ANALÍTICOS-Potencial hidroeléctrico

POTENCIAL HIDROELÉCTRICO APROVECHABLE

- Podemos distinguir tres tipos:
 - TEÓRICO (BRUTO) : Energía teórica del curso de agua sin considerar pérdidas
 - DE EXPLOTACIÓN: Energía del curso de agua, que técnicamente puede aprovecharse considerando pérdidas. En el ámbito mundial, se valora en término medio en un 60% del teórico
 - ECONÓMICO: Energía del curso de agua, cuya utilización resulta efectiva económicamente. A escala mundial, representa un 47% del potencial de explotación y un 26 % respecto al teórico.
- Porcentaje de potencia instalada en pequeñas centrales hidroeléctricas hasta el 2010, en LAC:**
 - Datos del estudio Climascopio 2012 (presentado en la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo Sostenible Río+20) realizado por el Fondo Multilateral de Inversiones. (www5.iadb.org/mif/Climatescope/2012)



PAÍS	% DE POTENCIA INSTALADA
Argentina	2
Belice	39
Bolivia	18
Brasil	4
Chile	4
Colombia	3,9
Costa Rica	10
Republica Dominicana	7
Ecuador	6
El Salvador	2
Guatemala	10
Haití	45
Honduras	9
Jamaica	3
Nicaragua	5
Panamá	13
Perú	6



UNITED NATIONS
INDUSTRIAL DEVELOPMENT ORGANIZATION
Capacity Building Programme on
Renewable Energy (RES)

Potencial hidroeléctrico

CLASIFICACIÓN DE LAS PEQUEÑAS CENTRALES HIDROELÉCTRICAS

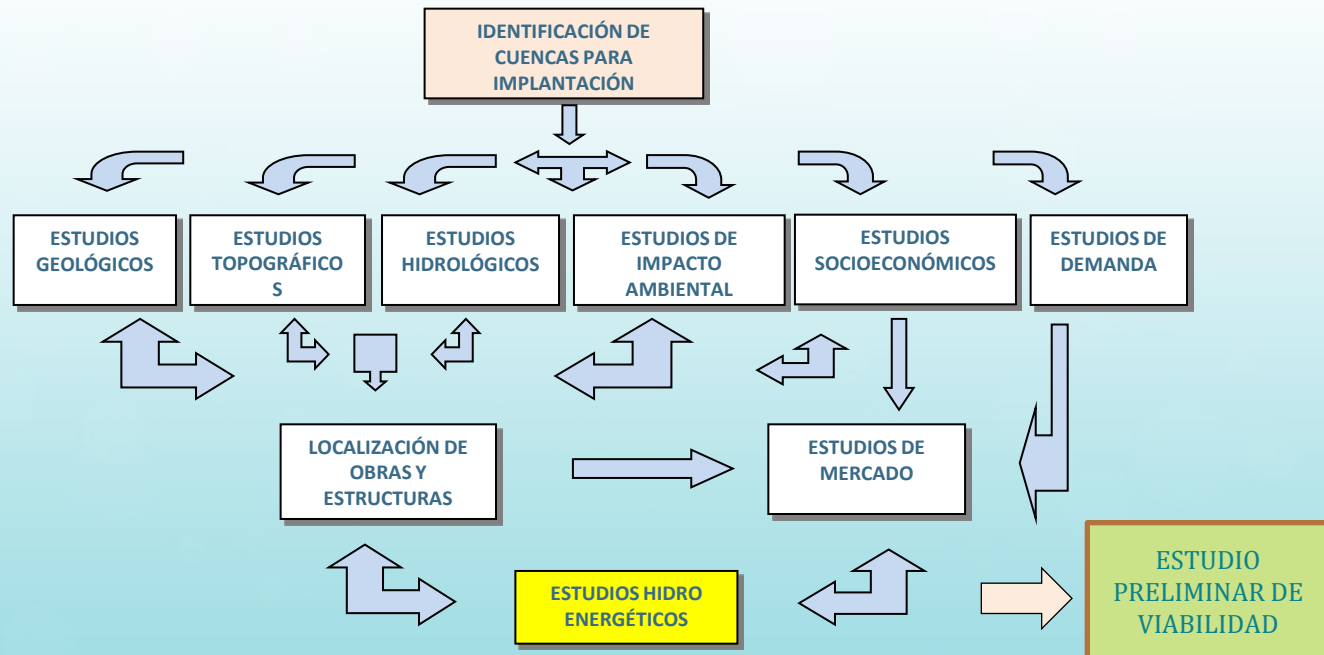
- Como resultado de las particularidades naturales, de los diferentes reconocimientos de los proyectos de aprovechamientos hidroeléctricos , etc., aparece una gran diversidad de PCH

Potencia límite instalada de la central (kW)			País, organización internacional
Pequeña central	Minicentral	Microcentral	
$P_{ins} \leq 30.000$ $P_{ins} \leq 30.000$ $P_{ins} \leq 12.000$	$P_{ins} = 100 - 1000$	$P_{ins} \leq 100$	antigua URSS Estados Unidos China y países del sureste de Asia
$P_{ins} \leq 5.000$			América Latina (OLADE)
$P_{ins} \leq 5.000$ $P_{ins} \leq 10.000 (*)$			UNIDO, Austria, España *, India, Canadá, Francia, Alemania y otros



El proyecto global de PCH

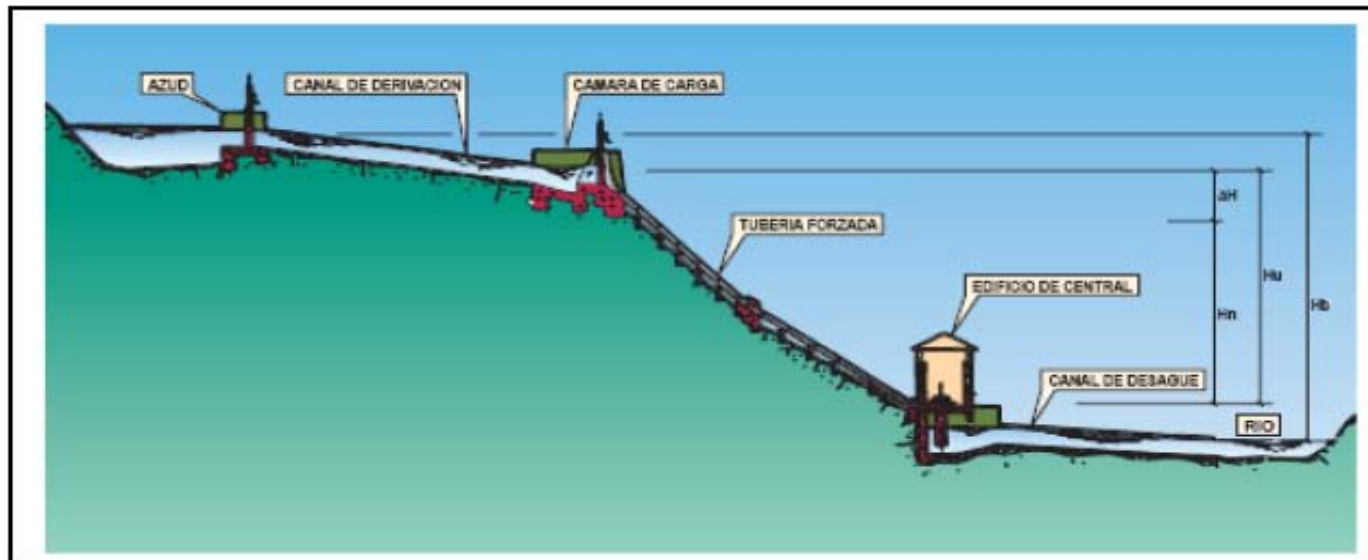
• GESTACIÓN DE UN PROYECTO HIDROELÉCTRICO



Estudios preliminares

ESTUDIOS PRELIMINARES

- Estudios geológicos y geotécnicos: litologías, **hidrogeoquímica, materiales salinos, karstificación**, previsión de colapsos
- Estudios cartográficos y topográficos : perfil del cauce, salto bruto, decisión de ubicación PCH, etc
- Salto bruto (H_b) (m)
- Salto útil (H_u) (m)
- Salto neto (H_n) (m)
- Pérdidas de carga (H_p)



Fuente : EVE (Ente Vasco de la Energía)



UNITED NATIONS
INDUSTRIAL DEVELOPMENT ORGANIZATION
Capacity Building Programme on
Renewable Energy (RES)

Estudio del recurso hídrico

DETERMINACIÓN DEL CAUDAL DE EQUIPAMIENTO O DE DISEÑO

- MÉTODO 1: Por pluviometría
- MÉTODO 2: Por estaciones de aforo
- MÉTODO 3: Por correlación entre cuencas de similares características, composición y cercanía.

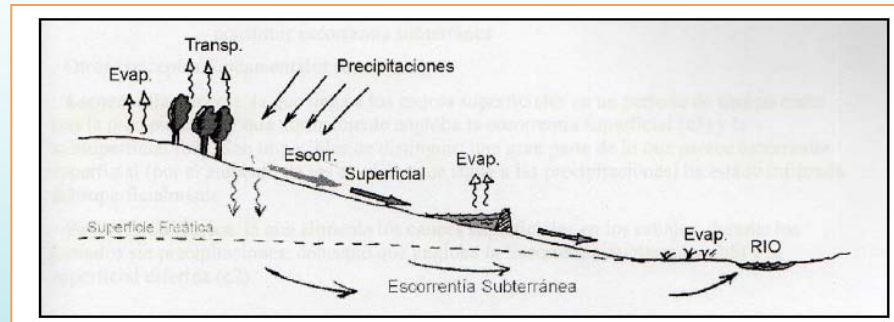
- ➊ **MÉTODO 1: POR PLUVIOMETRÍA:** Midiendo la precipitación caída en una cuenca hidrográfica mediante estaciones pluviométricas

Precipitación = ET + Esc._{Sup} + Esc._{Sub} (mm)

Esc._{Sup} = Escorrentía superficial

Esc._{Sub} = Escorrentía subterránea

ET = Evotranspiración

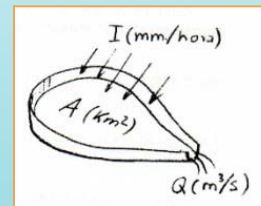


Fuente: Dpto. Geología .Univ. Salamanca

- ➋ Conocida la precipitación, el área de la cuenca vertiente y el coeficiente de escorrentía, puede obtenerse el valor del caudal :

- Q = caudal en m^3/s .
- I = Intensidad de la precipitación en mm/hora
- A = superficie de la cuenca vertiente en km^2
- C = coeficiente de escorrentía

$$Q = \frac{C \cdot I \cdot A}{3}$$

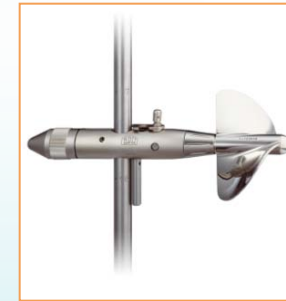
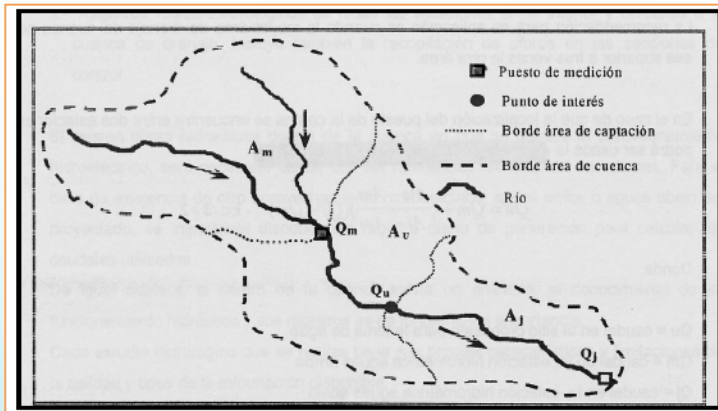


UNITED NATIONS
INDUSTRIAL DEVELOPMENT ORGANIZATION
Capacity Building Programme on
Renewable Energy (RES)

Estudio del recurso hídrico

MÉTODO 2 : POR ESTACIONES DE AFORO O HIDROMÉTRICAS

En una sección determinada, fija e inalterable en el tiempo. Se denominan estaciones hidrométricas



Molinete

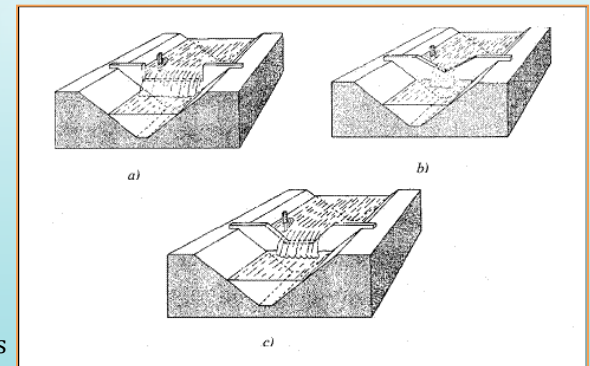
TIPOS DE AFOROS

Aforos directos :

- Método área velocidad: Molinetes, medidores ultrasónicos, etc
- Dilución con trazadores: Aforo de vertido constante
- Aforo de vertido único o de integración

Aforos indirectos:

- Estructuras hidráulicas (vertederos) con escalas limnimétricas y limnógrafos
- Método área pendiente



Tipos de vertederos de pared delgada

Estudio del recurso hídrico

MÉTODO 3: POR CORRELACIÓN ENTRE CUENCAS HIDROGRÁFICAS

Se utiliza en el caso de no existir ni estaciones de pluviometría ni estaciones hidrométricas en la zona en donde se va a implantar el aprovechamiento

CUENCA SIN
ESTACIÓN DE
AFORO



CUENCA CON
ESTACIÓN DE
AFORO

Fuente: Instituto Cartográfico Valenciano

Parámetros a tener en cuenta :

- Longitud del cauce principal (L) (km), perímetro (P) (km) y ancho (W) (km).
- Factor de forma
- Factor de compacidad
- Extensión superficial de la cuenca.
- Extensión superficial media.
- Elevación media de la cuenca.
- Pendiente media del cauce
- Pendiente media de la cuenca

Estudio del recurso hídrico

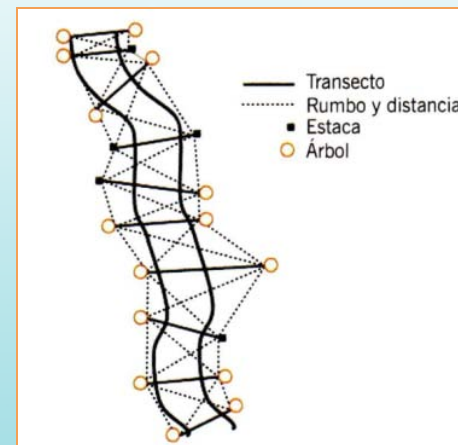
DETERMINACIÓN DEL CAUDAL DE EQUIPAMIENTO

- Es aquel que suministra la mayor cantidad de energía, teniendo en cuenta los siguientes factores:

- Caudal de servidumbre o ecológico
- Caudal mínimo técnico turbinable

• CAUDAL ECOLÓGICO

- Se define como el caudal mínimo capaz de mantener el funcionamiento del ecosistema fluvial en todos sus niveles
- Se determina mediante gráficas que relacionan la Anchura Ponderada Útil (APU) con el caudal circulante en cada tramo del río (transecto).



Fuente CONAMA (Congreso Nacional de Medio Ambiente -ETSI Montes) Madrid



UNITED NATIONS
INDUSTRIAL DEVELOPMENT ORGANIZATION
Capacity Building Programme on
Renewable Energy (RES)

Estudio del recurso hídrico

CAUDAL MÍNIMO TÉCNICO TURBINABLE

El caudal mínimo técnico de funcionamiento de la turbina hidráulica, es directamente proporcional al caudal de equipamiento (Q_e) con un factor de proporcionalidad K que depende del tipo de turbina:

$$Q_{\min} = K \cdot Q_e$$

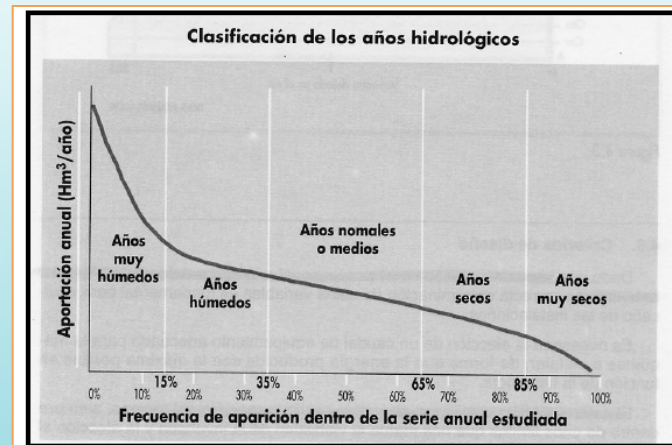


TIPO DE TURBINA	FACTOR K
PELTON	0,10
FRANCIS	0,40
KAPLAN	0,25
SEMIKAPLAN	0,40

TRATAMIENTO ESTADÍSTICO DE LOS DATOS OBTENIDOS DE LAS ESTACIONES HIDROMÉTRICAS

Clasificación de los años tipo

- Distribución estadística que tipifica los años en función de la aportación registrada



Fuente IDAE (Instituto de Diversificación y Ahorro Energético . España



UNITED NATIONS
INDUSTRIAL DEVELOPMENT ORGANIZATION
Capacity Building Programme on
Renewable Energy (RES)

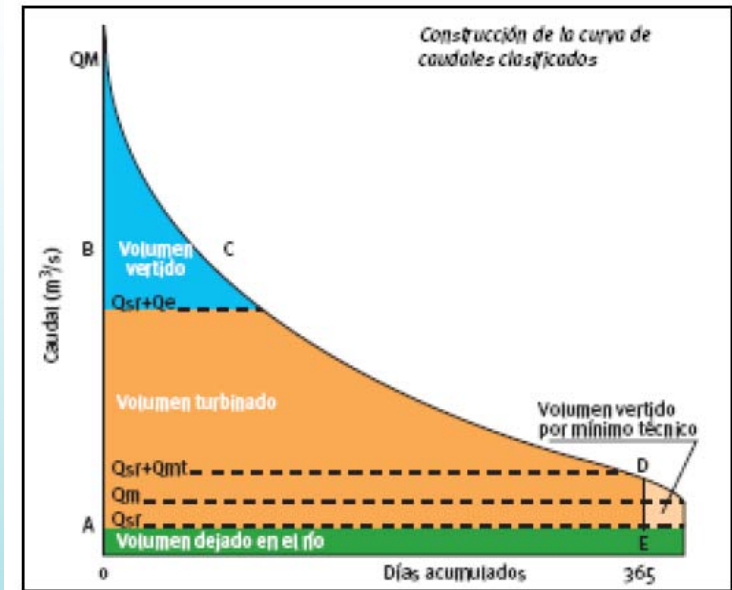
Estudio del recurso hídrico

CURVA DE DURACIÓN DE CAUDAL O CURVA DE CAUDALES MEDIOS CLASIFICADOS

- representa la frecuencia acumulada de los caudales medios diarios o mensuales, indicando el porcentaje de tiempo durante el cual los caudales igualan o exceden un valor dado.

CAUDALES CARACTERÍSTICOS

- **Caudal máximo de crecida (Q_M):** caudal rebasado 10 días al año
- **Caudal de sequía :** Caudal rebasado 355 días al año
- **Caudal medio anual:** Valores promedio de los 12 caudales medios mensuales (para cada año).
- **Caudal mínimo probable o de estiaje :** es el caudal que la corriente debe suministrar durante todo el año con una probabilidad de excedencia próxima al 100
- **Caudal de servidumbre (Q_{sf}):** el necesario que hay que dejar en el río por su cauce normal . El caudal ecológico lo fija el Organismo de la Cuenca, si no se conociera una primera estimación podría tomarse como el 20 % del caudal medio interanual.
- **Caudal mínimo técnico (Q_{mt}):** es aquel directamente proporcional al caudal de equipamiento con un factor de proporcionalidad K que depende del tipo de turbina
- **Caudal de equipamiento o caudal nominal (Q_e):** es el caudal que puede turbinarse con una determinada turbina hidráulica. Un método consiste en elegirlo entre el intervalo del Q80 y Q100 días al año . También, el valor que se presenta el mayor número de días / año



Fuente IDAE (Instituto de Diversificación y Ahorro Energético . España)



UNITED NATIONS
INDUSTRIAL DEVELOPMENT ORGANIZATION
Capacity Building Programme on
Renewable Energy (RES)

Estudio del recurso hídrico

OTROS VALORES DE CAUDALES A TENER EN CUENTA

CAUDAL SÓLIDO: arenas, limos, ... Aterramientos, golpes, roturas

CAUDAL DE CRECIDA O DE AVENIDA

- avenida correspondiente a un periodo de retorno o de recurrencia (T) a lo largo de n años, intervalo medio entre las avenidas de magnitud máxima en el periodo de observación (T).
- formula empírica de **Fuller**:

$$Q(T) = Q_M \cdot (1 + 0,8 \log_{10} T) \quad (Q_M = \text{Caudal máximo presentado})$$



Potencia teórica de un salto

POTENCIA TEÓRICA DE UN SALTO DE AGUA

- La potencia teórica de un salto de agua (P_t) en vatios, se puede estimar mediante la siguiente expresión:

$$P_t = \rho g Q H_b \quad (kW)$$

ρ = densidad del agua (1000 kg/m³)
 g = gravedad (9,81m/s²)
 Q = caudal de agua (m³/s)
 H_b = salto bruto (m)

POTENCIA INSTALADA Y PRODUCCIÓN

- Poniendo la P_t en función del salto neto y considerando la eficiencia o rendimiento de la central, la potencia eléctrica disponible es:

$$P = 9,8 H_n Q_e e \quad (kW)$$

$$e = \eta_t \cdot \eta_g \cdot \eta_m \cdot \eta_T \cdot \eta_L \cdot \eta_{\text{auto}}$$

η_t = rendimiento de la turbina hidráulica (0,80 a 0,94)
 η_g = rendimiento del generador eléctrico (0,96 a 0,98)
 η_m = rendimiento de la caja multiplicadora (si existe) (0,96 a 0,98)
 η_T = rendimiento del transformador de potencia de salida (0,97 a 0,98)
 η_L = rendimiento de la línea área o subterránea (0,95 a 0,96)
 η_{auto} = rendimiento del autoconsumo (0,96 a 0,97). Entre un 3 a un 4 % de la potencia instalada

- Un valor aproximado de e de una pequeña central hidráulica moderna oscila entre 0,78 y 0,85



TEMA 2. ESTUDIO DEL RECURSO HIDRÁULICO

POTENCIA MECÁNICA DISPONIBLE EN EL EJE DE LA TURBINA

$$P_{mec_{eje\ turb}} = P \cdot \eta_t \quad (kW_{mec})$$

POTENCIA ELÉCTRICA INSTALADA DEL GENERADOR ELÉCTRICO Y TRANSFORMADOR PRINCIPAL

$$P_G = P_{mec_{eje\ turb}} \cdot \eta_m \cdot \eta_g \quad (kW_e)$$

- La potencia del transformador principal en kW o kVA suele ser igual a la potencia instalada del generador eléctrico

PRODUCCIÓN ELÉCTRICA

$$E = 9,81 H_n Q_s \cdot T \cdot e \cdot c \quad \left(\frac{kWh}{año} \right) \longrightarrow$$

T= horas de funcionamiento equivalentes anuales

c= refleja las pérdidas debidas a:

- mantenimiento y reparación,
- disponibilidad de agua, etc.

Se suele tomar un valor entre 0,8 y 0,85



Tipología de pequeñas centrales

CLASIFICACIÓN

- **1.- En función del tipo de salto hidráulico a explotar :**
 - A) Minicentrales de alta presión. Saltos mayores de 200 m, y caudales pequeños. Se suelen instalar turbinas Pelton o Francis
 - B) Minicentrales de media presión. Saltos entre 20 y 200 m y caudales medios. Se instalan turbinas Francis normales.
 - C) Minicentrales de baja presión. Saltos menores de 20 m y elevados caudales. Turbinas de Hélice y Kaplan.
- **2.- En función de la ubicación de la PCH y al tipo de captación del agua a turbinar**
 - **A) Minicentrales de agua fluyente o corriente**
 - **B) Minicentrales a pie de presa**
 - **C) Centrales de uso compartido. Canal de riego o abastecimiento**

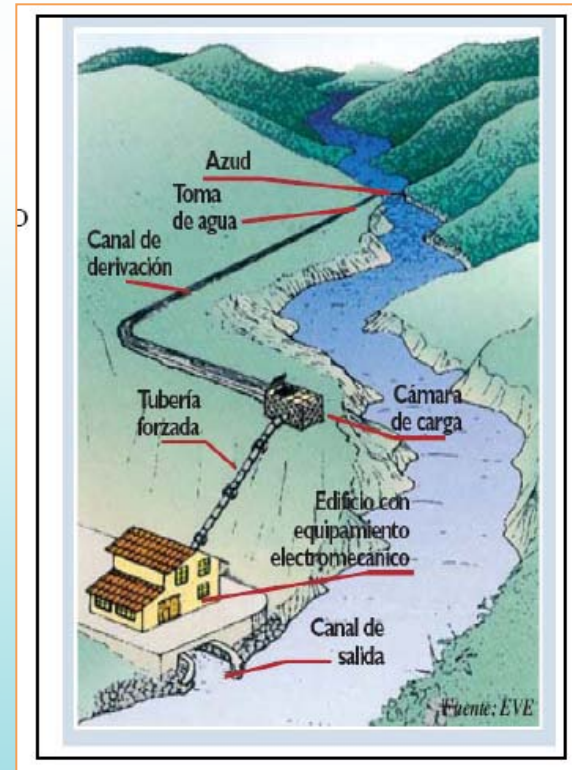
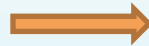


Tipología de PCH

MINICENTRAL DE TIPO FLUYENTE CON CANAL DE DERIVACIÓN

INFRAESTRUCTURAS DE OBRA CIVIL NECESARIAS

- Azud o pequeña presa con escala de peces
- Toma de agua con rejilla
- Canal de derivación
- Desarenador
- Cámara de carga.
- Tubería forzada
- Edificio de la central
- Canal de desagüe



Fuente : EVE (Ente Vasco de la Energía)



UNITED NATIONS
INDUSTRIAL DEVELOPMENT ORGANIZATION
Capacity Building Programme on
Renewable Energy (RES)

Tipología de PCH

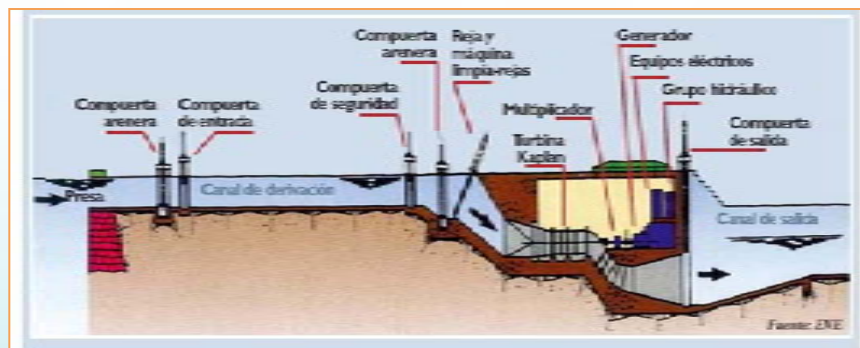
MINICENTRAL DE TIPO FLUYENTE SITUADA EN UN CURSO MEDIO/ BAJO DE UN RÍO

1 Con canal de derivación

- El salto disponible es pequeño y el canal de derivación suele ser de grandes dimensiones

INFRAESTRUCTURA DE OBRA CIVIL NECESARIA

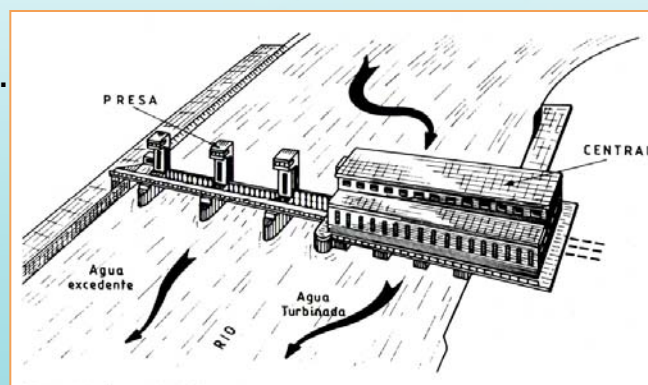
- Azud o pequeña presa con escala de peces
- Toma de agua con rejilla
- Canal de derivación
- Desarenador
- Tubería forzada
- Edificio de la central
- Canal de desagüe



2 Sin canal de derivación en el propio curso del río.

INFRAESTRUCTURA DE OBRA CIVIL NECESARIA

- Presa con aliviaderos de compuerta
- Deasarenador
- Escala de peces
- Edificio de la central



Tipología de PCH

MINICENTRALES A PIE DE PRESA

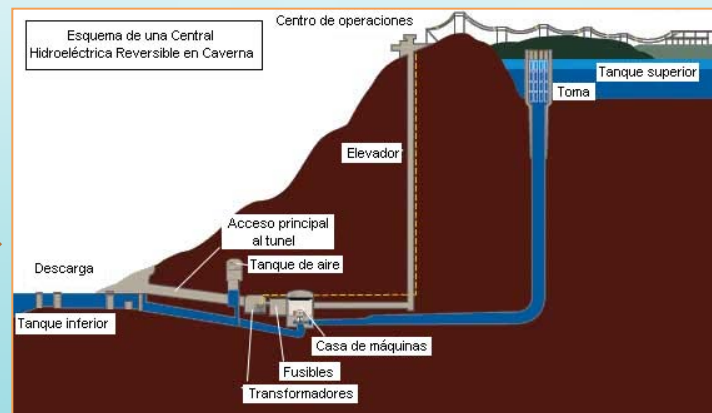
INFRAESTRUCTURAS DE OBRA CIVIL NECESARIAS

- Presa para la acumulación de un gran volumen de agua
- Toma de agua
- Rejillas
- Tubería forzada
- Edificio de la central
- Canal de desagüe



MINICENTRALES EN CAVERNA

En algunos emplazamientos hay que situar la minicentral en el interior de una montaña y por debajo del nivel de desagüe para evitar el fenómeno de cavitación en las turbinas.



UNITED NATIONS
INDUSTRIAL DEVELOPMENT ORGANIZATION
Capacity Building Programme on
Renewable Energy (RES)

Tipología de PCH

MINICENTRALES EN CANAL DE RIEGO O DE ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE

- Es importante construir un canal auxiliar que garantice el agua de regadío, de trasvase o el abastecimiento de agua a poblaciones cuando la turbina no esté operativa.
- Tienen un tiempo característico de funcionamiento de unas 2000 horas/año.

INFRAESTRUCTURAS DE OBRA CIVIL NECESARIAS

- Toma de agua desde el canal
- Rejillas
- Tubería de presión que parte directamente desde el canal.
- Edificio de la central
- Canal de desagüe que retorna el agua turbinada al propio canal de riego



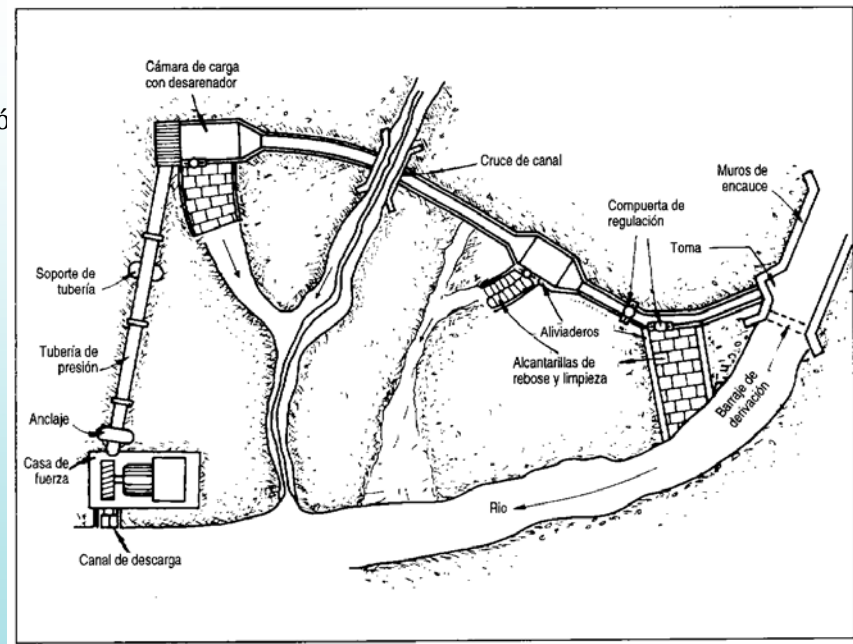
Obra civil

- La obra civil de una minicentral hidráulica incluye todas las infraestructuras necesarias para:

- derivar o conducir el agua a la central
- devolución agua al cauce
- alojar los componentes electromecánicos
- facilitar los accesos de vehículos de construcción mantenimiento

- Las instalaciones más frecuentes de obra civil son las siguientes:

- Azud/presa con escala de peces
- Toma de agua
- Canal de derivación
- Cámara de carga con desarenador y rejillas
- Tubería forzada
- Edificio de la central
- Canal de descarga
- Viales



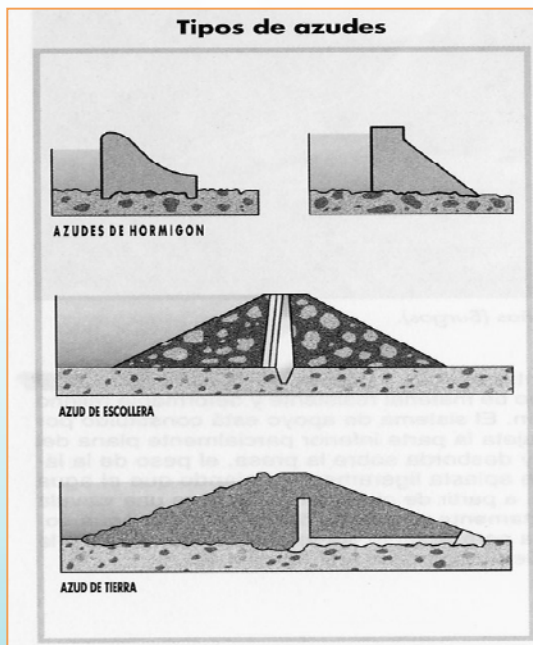
Fuente : Sánchez T. Ramírez, J. , ITDG-1995)



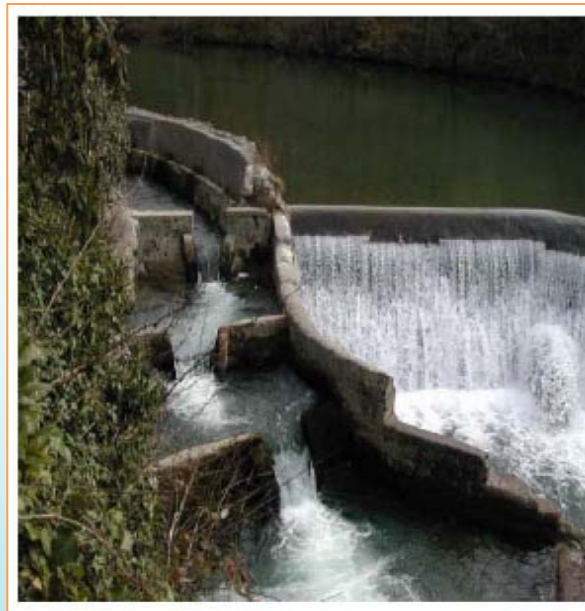
UNITED NATIONS
INDUSTRIAL DEVELOPMENT ORGANIZATION
Capacity Building Programme on
Renewable Energy (RES)

Obra civil

AZUD



ESCALA DE PECES



Fuente IDAE (Instituto de Diversificación y Ahorro Energético . España

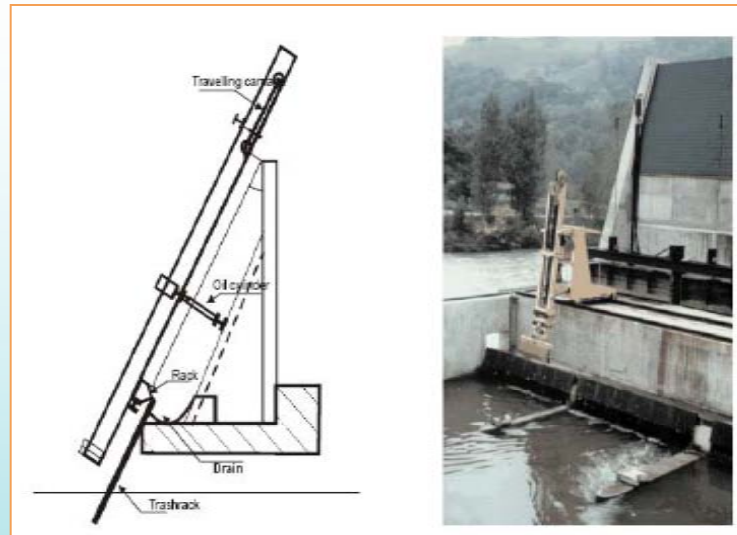


UNITED NATIONS
INDUSTRIAL DEVELOPMENT ORGANIZATION
Capacity Building Programme on
Renewable Energy (RES)

Obra civil

TOMA DE AGUA O BOCATOMA Y LIMPIARREJAS

- Con elementos adicionales: sistemas de desbaste (rejas con peines de limpieza automatizados o limpiarrejas), sistemas para evitar la entrada de peces, una pequeña balsa de decantación de arenas y limos y una compuerta con aliviadero para regular la entrada de agua.



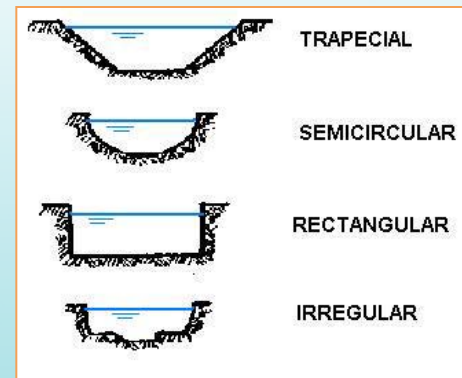
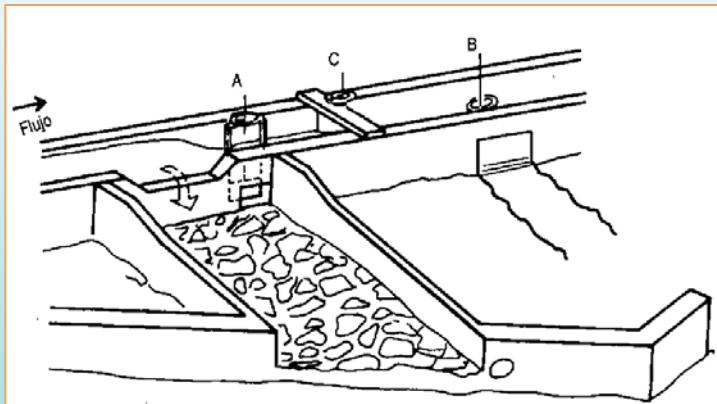
- El diseño hidráulico de estas estructuras se basa en el criterio de que sean competentes para dejar pasar cuando menos la avenida de diseño, aplicándose la fórmula para descarga libre de vertederos.



Obra civil

CANAL DE DERIVACIÓN

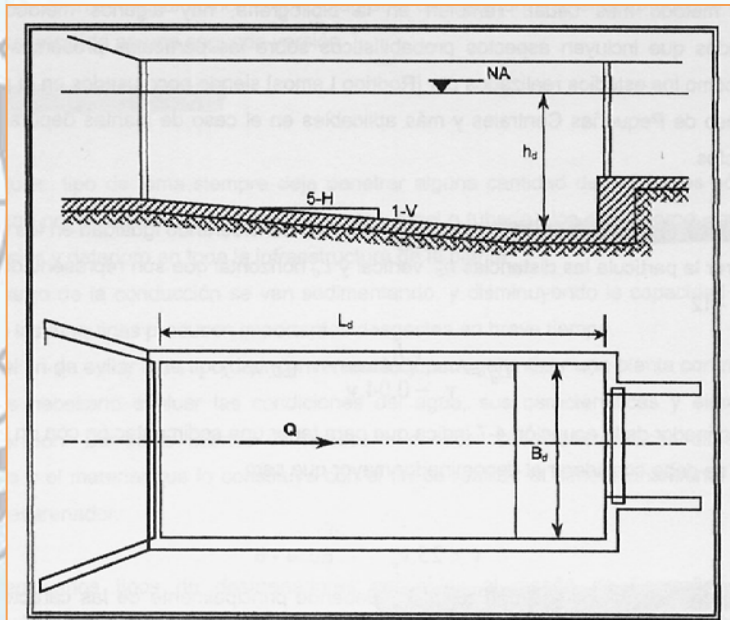
- En su diseño se procura que las pérdidas de energía sean mínimas.
- Los canales pueden tener forma trapezoidal, rectangular, semicircular o de sección irregular.
- La pendiente longitudinal del canal suele estar comprendida entre los valores de 0,2 y 0,5 metros por mil
- La velocidad de circulación del agua por el canal se suele tomar un valor máximo de 1,5 m/s
- En canales de longitud considerable, se instala un aliviadero intermedio con rebosadero protegido con malla



Obra civil

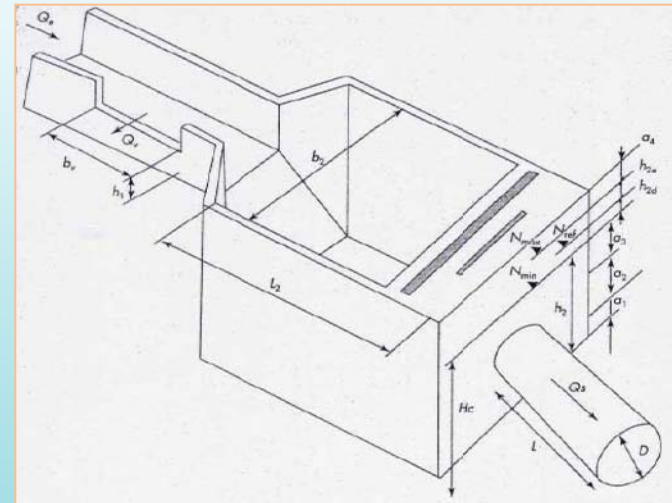
DESARENADOR

- evita que los materiales sólidos puedan penetrar en la turbina. Se sitúa previo a la cámara de carga



CÁMARA DE CARGA

- A continuación del desarenador y desde ella parte la tubería forzada. Tiene un aliviadero lateral que permita evacuar todo el caudal en el caso de parada rápida de la turbina o de una avenida.
- Las dimensiones de la cámara de carga, deben garantizar el volumen y nivel de agua adecuado, durante la operación de la planta.



Fuente Jairo Arcesio Palacios. Tesis Doctoral 1998



UNITED NATIONS
INDUSTRIAL DEVELOPMENT ORGANIZATION
Capacity Building Programme on
Renewable Energy (RES)

Obra civil-mecánica

TUBERÍA FORZADA

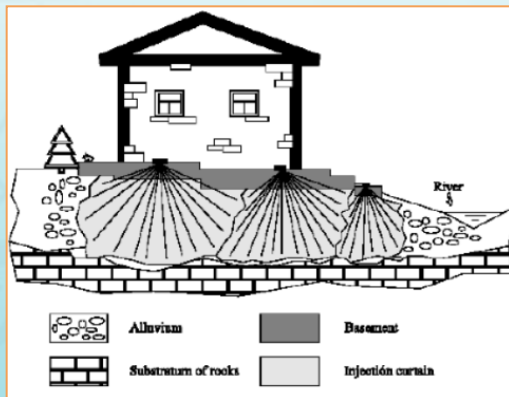
- de acero e incluye rigidizadores y apoyos diseñados para resistir los esfuerzos que deberá resistir en cada caso, incluyendo los posibles golpes de ariete.
- El espesor mínimo de las tuberías es de 5 a 6 mm y su diámetro se calcula en función del caudal, con velocidades máximas del agua en su interior de 4 a 5 m/s.
- El diámetro de la tubería se determina en base a que las pérdidas de energía sean mínimas debidas sobre todo a:
 - Rozamiento del agua
 - Cambios de dirección de la tubería
 - Longitud de la tubería



Obra civil-mecánica

EDIFICIO DE LA CENTRAL

- En él se sitúa el equipo que convierte la energía hidráulica en mecánica y eléctrica, y todos los elementos auxiliares: turbinas, generadores, cuadros eléctricos de control, sistema de regulación, válvula de guarda y de desvío, y el sistema de descarga al río.
- suele construirse al lado del río al que devuelve el agua, procurando el mínimo impacto ambiental.
- El punto donde ha de situarse el edificio debe elegirse cuidadosamente, teniendo en cuenta los estudios topográficos, geológicos y geotécnicos, así como la accesibilidad del mismo.
- Normalmente se sitúa a unos metros por encima del socaz (nivel de desagüe) para evitar su inundación en el caso de una crecida del río.



Interior de la minicentral hidráulica Molino de Suso (Álava –España). Fuente IDAE

Obra civil-mecánica

CANAL DE DESAGÜE

- El sistema de descarga al río está formado por la salida en lámina libre y por la descarga de la válvula de desvío o de guarda. En cualquier caso es conveniente situar una rejilla en la salida y una ataguía.



Descarga de la válvula de guarda

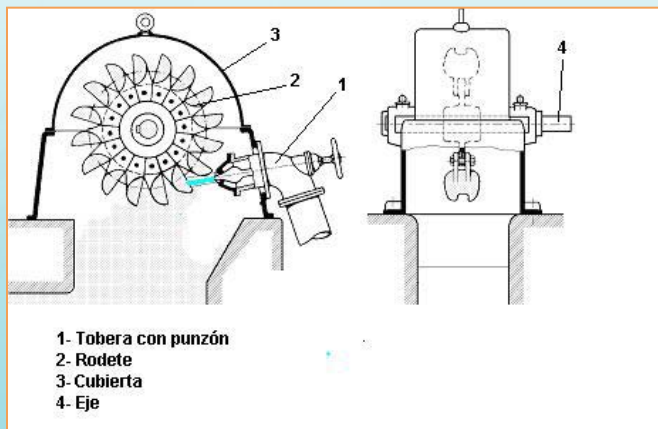


Turbinas hidráulicas

- ❶ Elemento que se encarga de la captura de la energía de la corriente, para convertirla en energía eléctrica en el generador.
- ❷ Si seguimos la trayectoria teórica del agua en el interior de la turbina, encontraremos los elementos principales de la misma. Dependiendo de si son de acción o de reacción, las partes pueden ser diferentes :

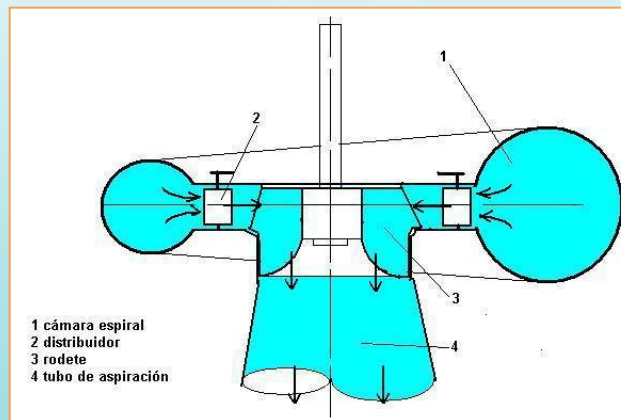
TURBINAS DE ACCIÓN

- Tubería de entrada
- Cubierta
- Inyectores o toberas
- Rodete en forma de doubles cucharas
- Canal de desagüe



TURBINAS DE REACCIÓN

- Tubería de entrada
- Cámara en forma de espiral
- Distribuidor
- Rodete
- Tubo de aspiración
- Canal de desagüe



Turbinas

FUNDAMENTOS HIDRÁULICOS TEÓRICOS

- Las turbinas hidráulicas cumplen con las ecuaciones básicas de la mecánica de fluidos:

- **Continuidad** :
- **Conservación de cantidad de movimiento**. Nos permitirá conocer fuerzas actuantes.
- **Conservación del momento cinético** : par motor de las máquinas hidráulicas y **la potencia capturada** por una máquina de una corriente de fluido

Si gira a velocidad angular (ω), la potencia desarrollada será:

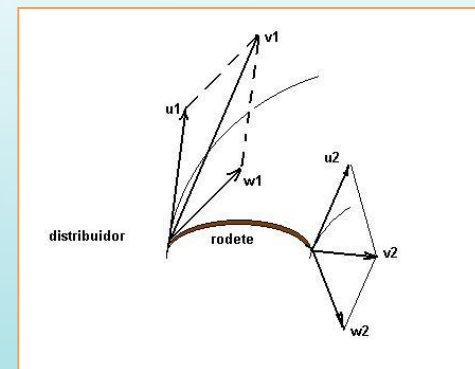
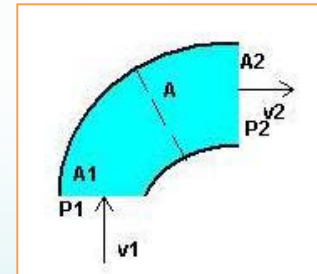
- Por otro lado del balance energético obtenemos que el salto efectivo queda:
- Siendo el rendimiento hidráulico

$$Potencia\ efectiva = P_m \cdot \varpi = \rho \cdot Q (v_1 u_1 \cos \alpha_1 - v_2 u_2 \cos \alpha_2)$$

$$P_e = \gamma \cdot Q \cdot H_e$$

$$\eta = \frac{u_1 v_1 \cos \alpha_1 - u_2 v_2 \cos \alpha_2}{gH}$$

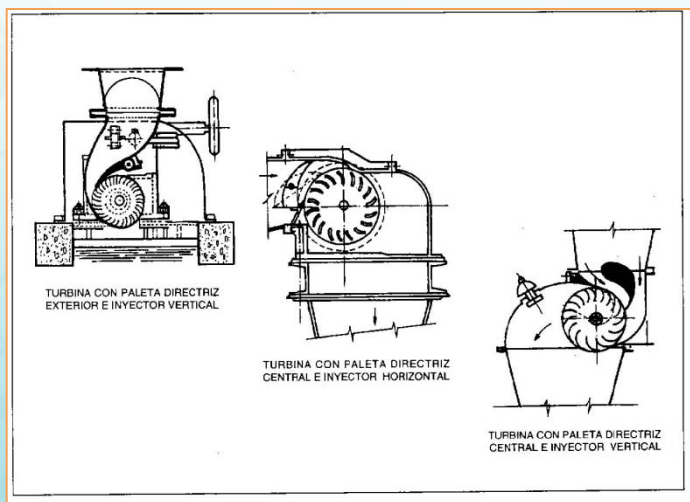
$$H_e = \frac{1}{g} (v_1 u_1 \cos \alpha_1 - v_2 u_2 \cos \alpha_2)$$



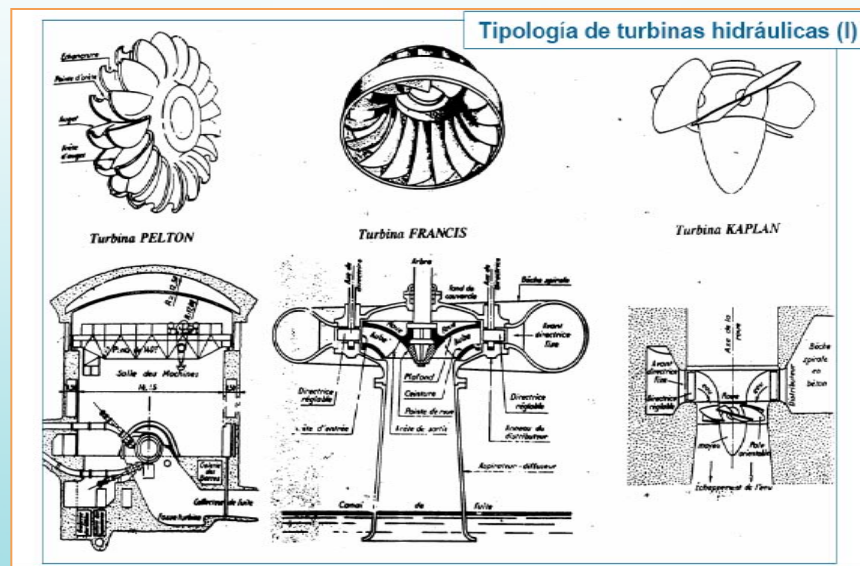
Turbinas

TIPOS DE TURBINAS HIDRÁULICAS

- Según la forma de llevar a cabo la conversión de energía hidráulica en mecánica, existen dos tipos de turbinas:
 - Turbinas de acción o de impulso (Pelton, Turgo, Ossberger o Michell- Banki). Trabajan a la presión atmosférica. Toda la energía se ha convertido en cinética en la tobera.
 - Turbinas de reacción (Francis y Hélice o Kaplan). Trabajan a presión superior a la atmosférica, en la entrada; puesto que si tienen tubo de aspiración, están en depresión a la salida del rodete



Turbina de acción Michell - Banki



Turbinas

PARÁMETROS PRINCIPALES PARA SU SELECCIÓN

- Salto neto o útil H_n (m)
- Caudal de equipamiento Q_e (m³/s)

- Velocidad específica

- Pelton: $n_s = 2,7$ a 30 r/min

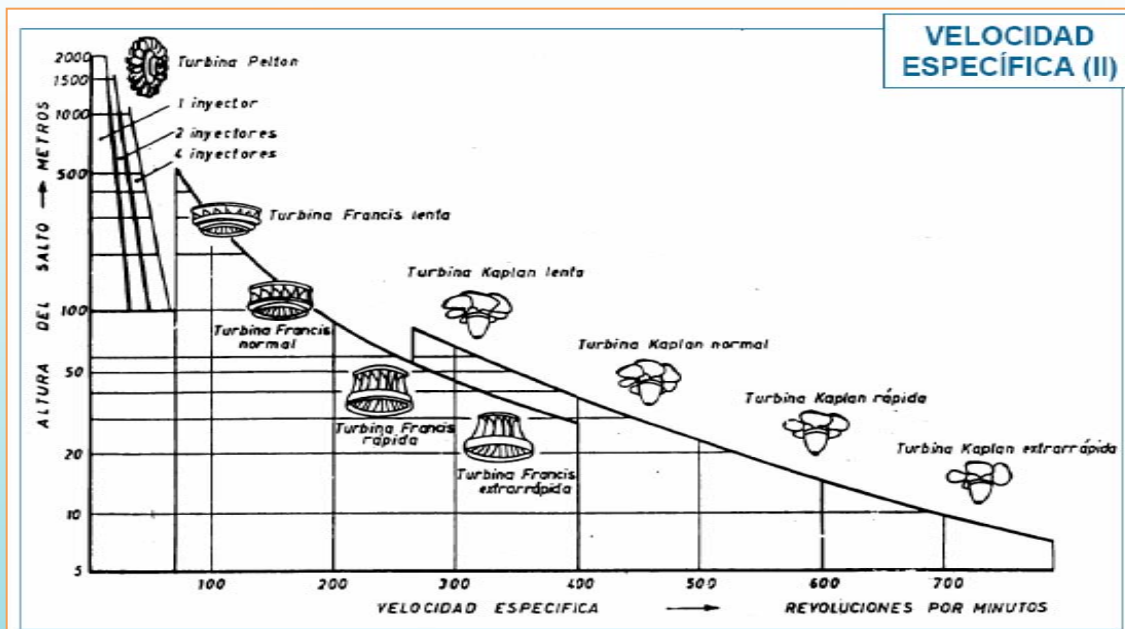
$$n_s = n \frac{\sqrt{P_{e_{cv}}}}{H^{1,25}}$$



n = velocidad real de giro del eje (r.p.m)

P_e = potencia efectiva en CV

H = salto neto o útil (m)



Equipo electromecánico

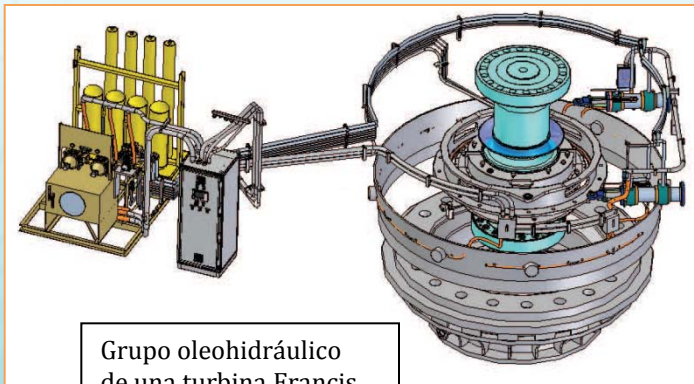
- El equipo electromecánico de una pequeña central hidráulica está formado por los siguientes elementos:
 - Elementos de cierre y regulación
 - Grupo oleohidráulico
 - Caja multiplicadora de velocidad
 - **Generador eléctrico**
 - Equipo eléctrico general
 - Transformador principal
 - Transformador de servicios auxiliares
 - Disyuntores , etc
 - Equipos auxiliares
 - Bancada de baterías
 - Bombas de achique de agua
 - Puente grúa
 - Sistema de extinción de incendios
 - Etc.
 - Elementos de regulación, control y protección:
 - Control de turbina hidráulica
 - Control del generador eléctrico



Equipo electromecánico

GRUPO OLEOHIDRÁULICO

- Para el accionamiento de los elementos de regulación de caudal y válvulas se dispone de un grupo oleohidráulico de aceite a presión
- Estos accionamientos son:
 - el accionamiento de **las palas del rodete (KAPLAN o SEMIKAPLAN)**
 - el accionamiento de **los inyectores (PELTON)**
 - el accionamiento de **la válvula de guarda**



Grupo oleohidráulico de una turbina Francis



Grupo oleohidráulico



UNITED NATIONS
INDUSTRIAL DEVELOPMENT ORGANIZATION
Capacity Building Programme on
Renewable Energy (RES)

Equipo electromecánico

GENERADOR ELÉCTRICO

- El generador eléctrico es una máquina que se encarga de transformar la energía mecánica de rotación, que proporciona la turbina, en energía eléctrica.
- El generador (o alternador) está formado por dos partes:
 - El rotor (o inductor móvil), que se encarga de generar un campo magnético variable al girar arrastrado por la turbina.
 - El estator (o inducido fijo), sobre el que se genera la corriente eléctrica aprovechable.
- En centrales menores de 1000 kW la tensión de generación es de 380 a 500 V c.a., y para potencias más altas la tensión se eleva hasta los 6000 V.
- El generador eléctrico puede ser de dos tipos: síncrono o asíncrono.

GENERADORES SÍNCRONOS

- En este tipo de generadores, la velocidad de giro es constante, una vez sincronizado con la red eléctrica, y viene dada por la expresión:

$$n = \frac{60 \cdot f}{p} \text{ (r.p.m.)}$$

n= velocidad de sincronismo expresada en r.p.m.
f= frecuencia de la red eléctrica en Hz (50 ó 60 Hz)
p= número de pares de polos del generador

Number of poles	Frequency		Number of poles	Frequency	
	50 Hz	60Hz		50 Hz	60 Hz
2	3000	3600	16	375	450
4	1500	1800	18	333	400
6	1000	1200	20	300	360
8	750	900	22	272	327
10	600	720	24	250	300
12	500	600	26	231	377
14	428	540	28	214	257



Equipo electromecánico

EQUIPOS AUXILIARES

- Los equipos auxiliares que se pueden considerar son:
 - Ventilación
 - Alumbrado normal y de emergencia
 - Equipo de corriente continua (baterías) empleado para alimentar las bobinas de desconexión del disyuntor y el devanado de excitación del generador en el arranque.
 - Bombas de achique de agua ante posibles fugas o inundaciones.
 - Batería de condensadores, en el caso de que exista un generador asíncrono
 - Puente grúa (en algunos casos)
 - Red de tierra de protección y servicio, para limitar la tensión en el caso de la aparición de una falta a tierra.
 - Limpiarrejas motorizados situados en la toma de agua y en la entrada de la conducción forzada
 - Sistema de protección contra incendios
 - Agua de refrigeración para los generadores síncronos de gran potencia.
- El consumo eléctrico de estos equipos auxiliares oscila entre el 2 y el 3% de la producción de la central.

Equipo electromecánico

ELEMENTOS DE REGULACIÓN Y CONTROL

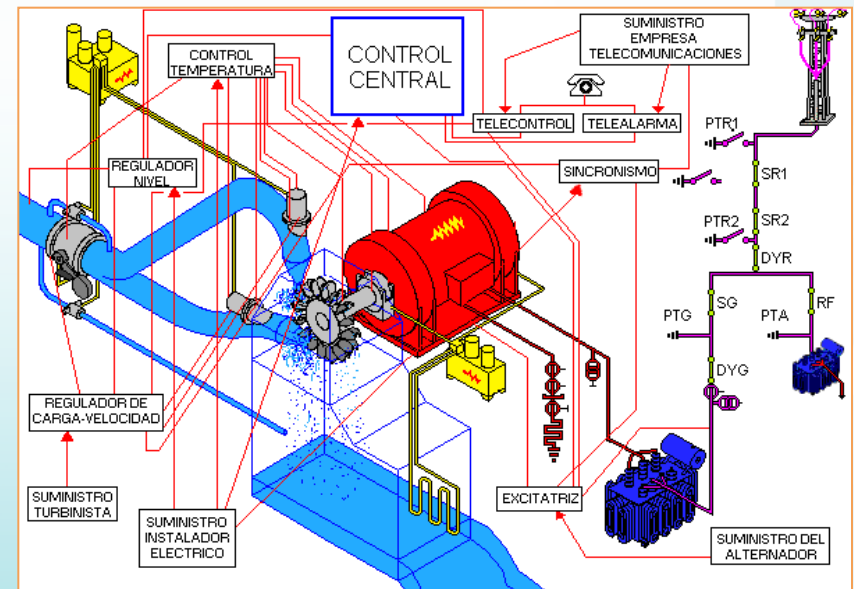
- Los principales bucles de control y sistemas de supervisión y mando en una central hidroeléctrica de pequeña potencia son:

- Para el control de la turbina:

- Regulador de velocidad sobre todo para centrales con generadores síncronos
- Reguladores de nivel para centrales con grupos asíncronos
- Regulador de caudal turbinado o servo motor

- Para el control del generador:

- Regulador de tensión para los grupos síncronos (RAT)
- Equipo de sincronización, en caso de generadores síncronos conectados a la red.
- Baterías de condensadores, en el caso de generadores asíncronos conectados a la red.



Impacto ambiental

- Los Estudios de Impacto Ambiental (EIA) pretenden analizar y comprender la relación de incidencia entre un proyecto determinado y el entorno afectado.
- FASES DE UN ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL Y TRAMITACIÓN**



Fuente IDAE (Instituto de Diversificación y Ahorro Energético . España



UNITED NATIONS
INDUSTRIAL DEVELOPMENT ORGANIZATION
Capacity Building Programme on
Renewable Energy (RES)

Impacto ambiental

ANÁLISIS DEL PROYECTO

Identificación de las posibles causas de impacto en la fase de construcción y de explotación del proyecto.

- Objetivos de la minicentral
- Presencia de otras minicentrales en el tramo del río
- Potencia instalada
- Caudales mínimos, de equipamiento y de servidumbre
- Azud o presa prevista: diseño (altura, localización, etc.)
- Caudales de derivación: ubicación, tipo (abierto o cerrado), longitud, etc.
- Cámara de carga y chimenea de equilibrio: características
- Tubería forzada: localización, materiales utilizados y tipo de tubería
- Edificio: tipología constructiva
- Presencia de canal de desagüe
- Plan de obras y medidas de revegetación
- Movimiento de tierras
- Disposición y características del tendido eléctrico
- Épocas de explotación previstas
- Medidas para evitar el aterramiento de la presa o azud

IDENTIFICACIÓN Y VALORACIÓN DE IMPACTOS

Las posibles alteraciones del medio físico son:

- La inundación de extensas zonas aguas arriba del punto en donde se coloca el azud o presa.
- Pérdidas de suelo agrícola, ganadero o forestal con erosión e inundación.
- Reajustes de las corrientes de agua y los efectos asociados sobre la calidad y cantidad del agua y fauna acuática.
- Reducción de la diversidad biológica
- Efecto barrera del azud al tránsito de fauna
- Impacto acústico originado por las turbinas y generadores
- Desaparición de especies animales por degradación o destrucción de su hábitat
- Sustracción de caudales de agua aprovechables para otros usos.
- Detracción de caudales y efectos sobre la calidad de aguas por embalsamiento, descarga temporal de limos y disminución de la capacidad de dilución del tramo del río afectado. Eutrofización (disminución del contenido de oxígeno disuelto en el agua).
- Impacto de aves en el tendido eléctrico

Evaluación económica

PARÁMETROS ECONÓMICOS

- La rentabilidad económica de una pequeña central hidroeléctrica puede valorarse sobre la base de efectividad comparativa. Para ello se utilizan diferentes parámetros:

- **Índice de energía** = Coste de la inversión / Energía producida en kWh/año
 - Su valor medio se sitúa en 0,36 euros/kWh (0,27\$/kWh).

- **Índice de potencia** = Coste de la inversión / potencia instalada en MW
 - El valor medio del índice de potencia se sitúa alrededor de 1.200 euros/kW (923 \$/kW)

- **Horas equivalentes de funcionamiento al año** =

- Producción anual en kWh / Potencia instalada en kW

- Centrales situadas en canal de riego: Entre 4.300 a 2.000 horas
- Centrales a pie de presa: Una media de 2.500 h
- Centrales tipo fluyentes situadas en cursos altos de ríos: Alrededor de 3.100 h
- Centrales tipo fluyentes situadas en cursos medios de ríos: Alrededor de 4.000 h

- **Factor de capacidad**
$$FC (\%) = \frac{\text{Energía media generada } (\frac{kWh}{\text{año}})}{\text{Potencia instalada (kW)} \times 8760h}$$

- **Fiabilidad**
$$Fiabilidad (\%) = \frac{\text{Horas totales año} - \text{Horas de paradas fortuitas}}{\text{Horas totales año}} \cong 97\%$$

- **Disponibilidad**
$$Disponibilidad (\%) = \frac{\text{Horas totales año} - \text{Horas parada programada} - \text{Horas de paradas fortuitas}}{\text{Horas totales año}}$$



Evaluación económica

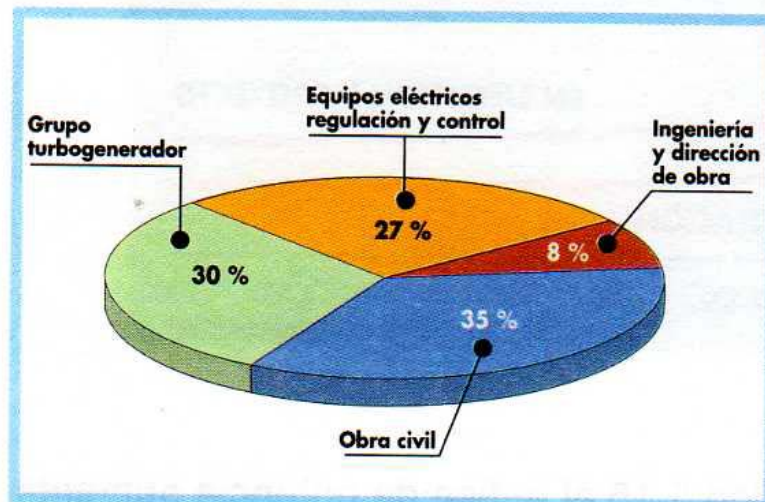
FACTORES A TENER EN CUENTA EN EL ESTUDIO ECONÓMICO

- Vida útil de la instalación: Se suele tomar entre 25 y 40 años
- Periodo de amortización de la inversión
- Inversión: El coste total de ejecución del proyecto
- Fondo de maniobra: Requerido para realizar el pago de impuestos o bien para depositar fianzas.
- Gastos pre operacionales: gastos generados por la realización del proyecto concesional, gastos administrativos, licencias, seguros de responsabilidad civil, estudio de impacto ambiental, etc.
- Ingresos por la venta de la energía producida a una compañía distribuidora de energía
- Gastos de operación y mantenimiento. Son los gastos que se producen en la explotación de la central, como son, personal, repuestos, seguros, etc.
- Cánones. La Confederación Hidrográfica puede exigir un canon por turbinar caudales que han sido previamente regulados por obras hidráulicas situadas aguas arriba del aprovechamiento.
- Índice de precios al consumo (IPC)
- Impuestos : Impuesto de Sociedades e IVA
- Tasa de interés. Se suele considerar entre un 2- 3%
- Deuda adquirida con una entidad bancaria con una tasa de interés anual.

CÁLCULO DE LA INVERSIÓN DE UNA MINICENTRAL HIDROELÉCTRICA

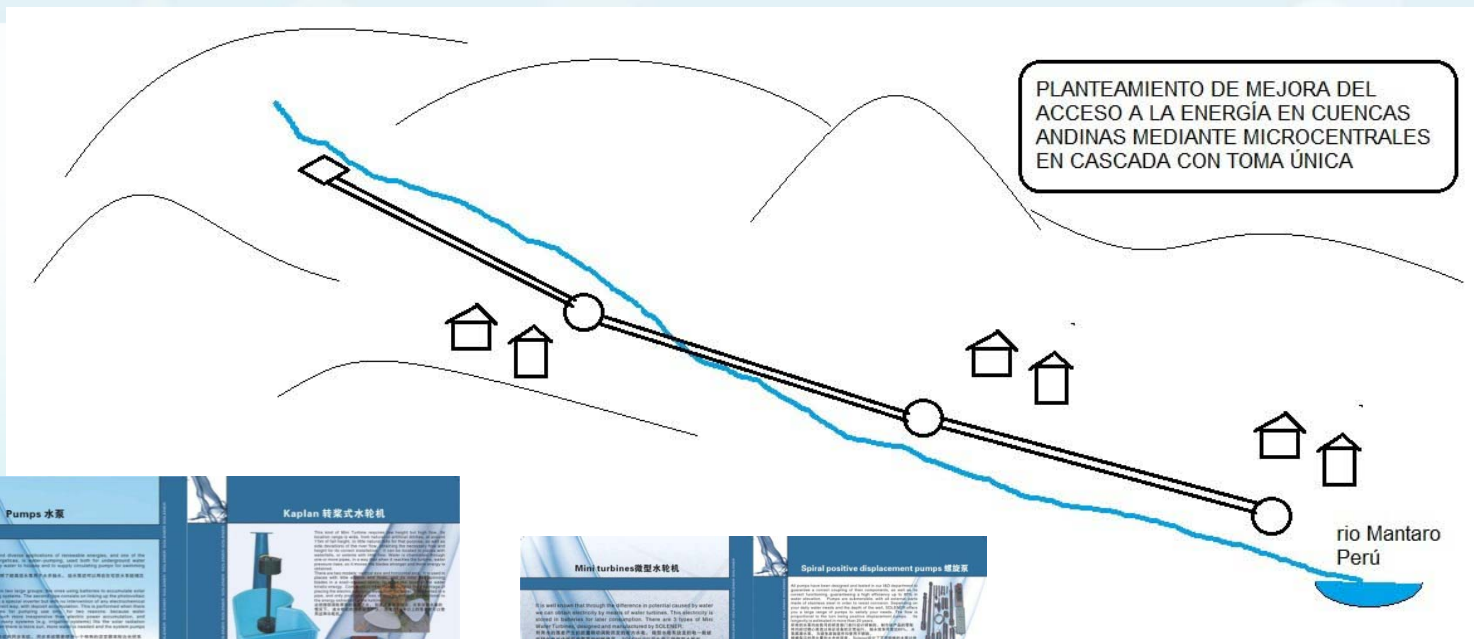
Costes unitarios a considerar:

- Azud o presa
- Toma de agua, incluida rejillas y compuertas
- Canal de derivación
- Cámara de carga
- Tubería forzada
- Edificio de la central y canal de descarga
- Turbina
- Generador
- Transformador principal
- Sistema eléctrico general y automatización
- Línea eléctrica
- Caminos de acceso a la central
- Ingeniería y dirección de obra



UNITED NATIONS
INDUSTRIAL DEVELOPMENT C
Capacity Building Pro
Renewable Energy (R&D)

Caso: Mejoras en acceso a la energía



UNITED NATIONS
INDUSTRIAL DEVELOPMENT ORGANIZATION
Capacity Building Programme on
Renewable Energy (RES)

concluyendo

ACERCA DE LA ENERGÍA MINIHIDRÁULICA...Y LAS PCH

- Tienen períodos de gestación más cortos, de dos a cinco años, en comparación con las grandes centrales hidroeléctricas, que puede estar alrededor de los siete años.
- Tienen un periodo retorno de la inversión menor y sus costes de operación y mantenimiento son más bajos.
- Son más fáciles de construir y poner en marcha debido a que su diseño es más simple, lo que proporciona también unos costes más bajos. Las centrales hidroeléctricas grandes requieren estudios rigurosos, que no son necesarios para la construcción de una PCH
- Su construcción tiene un impacto ambiental mínimo y no perturba el hábitat local como es el caso de las grandes plantas de energía hidroeléctrica.
- Su instalación, no implica la construcción de grandes presas y embalses, y por lo tanto no da lugar a los problemas de deforestación, inundación y rehabilitación. Además, no requieren una gran superficie de tierra para su instalación y se pueden construir para aprovechar pequeñas corrientes de agua y con pequeños saltos.
- Son de alta fiabilidad y disponibilidad, por ser una tecnología plenamente desarrollada y madura.